



BETONIRAKENTEIDEN ONNETTO- MUUSTILANNEMITOITUS

Elina Ruokoranta

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

RUOKORANTA, ELINA:
Betonirakenteiden onnettomuustilannemitoitus

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2015

Tässä opinnäytetyössä tutkin betonielementtirakennuksen onnettomuustilannemitoitusta. Työn tavoitteena oli luoda tiivis ja selkeä ohjeistus onnettomuustilanteiden huomioimisesta betonirakenteiden mitoituksessa. Lisäksi laadin mitoitusaulukot ontelolaataston rengas- ja sisäpuolisten siteiden suunnitteluun kohteissa, joissa liitokset mitoitetaan jatkuvan sortuman estämiseksi.

Onnettomuustilanteet voidaan jakaa ennalta määräämättömiin ja ennalta määriteltävissä oleviin tapauksiin. Ennalta määriteltävissä oleviin kuuluvat esimerkiksi törmäykset ja rakennusten sisäpuoliset räjähdykset. Ennalta määräämättömiin onnettomuustilanteisiin kuuluvat esimerkiksi elementin irtoaminen epäsymmetristen lämpö- ja kosteusliikkeiden takia, perustusten painumat sekä elementin putoaminen alapuolisen rakenteen päälle.

Ennalta määriteltävissä olevien onnettomuustilanteiden toimintaperiaatteet voidaan jakaa kuormaan vaikuttaviin toimintaperiaatteisiin tai rakenteeseen vaikuttaviin toimintaperiaatteisiin. Kuormaan vaikuttavien periaatteiden tarkoituksena on estää kuorman syntyminen ja pienentää sen vaikutusta rakenteeseen esimerkiksi suojakaiteilla tai paineenpurkausluukuilla. Vaihtoehtoisesti rakenne voidaan suunnitella kestäämään kyseinen onnettomuuskuorma. Tällöin yksittäinen rakenneosa suunnitellaan kuormia kestäväksi tai rakennekokonaisuus suunnitellaan siten, että yksittäisen rakenneosan vaurioituminen ei johda jatkuvaan sortumaan.

Kun onnettomuuskuorma ei ole ennalta määriteltävissä, toimintaperiaatteina ovat paikallisen vaurion syntymisen tai jatkuvan sortuman estäminen. Paikallinen vaurio estetään mitoittamalla rakennuksen stabiliteettiin keskeisesti vaikuttavat rakenneosat avainasemassa olevina. Jos periaatteena on jatkuvan sortuman estäminen, voidaan käyttää korvaavaa rakennesysteemiä, jossa vaurioituneen rakenneosan kantamat kuormat siirtyvät ehjäksi jääneiden rakenneosien kannettaviksi. Vaihtoehtoisesti voidaan mitoittaa liitokset siten, että jatkuva sortuma katsotaan estetyksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme of Construction Engineering
Option of Civil Engineering

RUOKORANTA, ELINA:
Accidental actions in structural designing

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 1 pages
January 2015

The subject of this thesis was structural designing when taking accidental actions into account. The aim was to create a compact instructions of when and how the designers should design the structures so that they can bear the accidental accounts. Additionally, this thesis includes the dimensioning tables for designing reinforcement for the intermediate floor of hollow-core slabs.

Accidental actions can be divided into two groups; those that cannot be predetermined and those that can. Actions that cannot be predetermined are for example the fall of the prefabricated unit caused by thermal radiation, deflection of the foundation and prefabricated unit falling on the structure underneath. Actions that cannot be predetermined are for example collisions and explosions inside the buildings.

Operational principles of the actions that can be predetermined can be divided to those that affects on the action and those that affects on the structure. Affecting on the actions means that the emergence of the action is prevented or the actions effect in the structure is reduced. Alternatively the structure can be designed to bear the loading. In that case the single component can be designed to bear the load or the whole structure can be designed so that the damage of one component doesn't cause progressive collapse.

When the accidental action cannot be predetermined, operational principle is either prevent emergence of the localized failure or prevent the progressive collapse. The localized failure can be prevented by designing the elements that are vital for the stability of the structure as a key element. If the principle is to prevent the progressive collapse, designer can use alternative load paths or design the joints so that the progressive collapse is considered to be prevented.

Key words: progressive collapse, accidental action, structural designing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	ONNETTOMUUSTILANTEIDEN HUOMIOIMINEN RAKENTEIDEN MITOITUKSESSA.....	6
2.1	Onnettomuusmitoitustilanteiden käsittely.....	6
2.2	Paikallinen vaurio ja jatkuva sortuma	9
2.3	Korvaava rakennesysteemi.....	11
2.4	Kuormitusyhdistelmä, kertoimet ja osavarmuusluvut.....	12
3	ENNALTA MÄÄRÄTYT ONNETTOMUUSKUORMITUSTILANTEET ..	14
3.1	Törmäykset.....	14
3.1.1	Törmäys rakennuksen tukirakenteisiin.....	15
3.1.2	Haarukkatrukkien aiheuttamat onnettomuuskuormat.....	16
3.2	Rakennuskohteen sisäpuoliset räjähdyskset	17
4	LIITOSTEN MITOITUS JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMISEKSI.....	18
4.1	Mitoitusperiaatteet.....	18
4.2	Seuraamusluokkien mukaiset toimintaperiaatteet.....	18
4.3	Vaakasiteet	20
4.3.1	Rengas- ja sisäpuoliset siteet.....	20
4.3.2	Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan	26
4.4	Pystysiteet	28
4.5	Avainasemassa olevat rakenneosat	29
5	MITOITUSTAULUKOT RENGAS- JA SISÄPUOLISILLE SITEILLE	30
5.1	Yleistä	30
5.2	Mitoitustaulukot	30
6	YHTEENVETO.....	34
	LÄHTEET	35
	LIITTEET.....	36

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy:lle. Yritys sijaitsee Tampereella ja sen kohteita ovat keskisuuret rakennushankkeet. Opinnäytetyön ohjaajana toimii Timo Sormunen.

Tämän työn tavoitteena on luoda yrityksen henkilöstölle tiivis ja selkeä ohjeistus onnettomuustilanteiden huomioimisesta rakennesuunnittelussa. Työssä esitellään erilaisten onnettomuusmitoitustilanteiden keskeiset toimintaperiaatteet. Tämän opinnäytetyön avulla suunnittelija saa käsityksen siitä, milloin onnettomuuskuormat tulee huomioida suunnittelussa ja millaiset toimintaperiaatteet soveltuvat erilaisiin mitoitustilanteisiin. Lisäksi tarkoituksena on tehdä mitoitustaulukot ontelolaataston rengas- ja sisäpuolisten siteiden suunnitteluun betonielementtikohteissa, joissa liitokset mitoitetaan jatkuvan sortuman es-tämiseksi.

Työssä sovellettiin sekä kirjallista että haastattelututkimusta.

2 ONNETTOMUUSTILANTEIDEN HUOMIOIMINEN RAKENTEIDEN MITOITUKSESSA

2.1 Onnettomuusmitoitustilanteiden käsittely

Ohjeet ja vaatimukset rakenteiden suunnitteluun määritellään Eurokoodi-standardeissa. Standardissa SFS-EN 1990 määrätään muun muassa, että rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että ne kestävät koko käyttöikänsä ajan kaikki kuormat ja vaikutukset, joita todennäköisesti esiintyy toteutuksen ja käytön aikana sekä pysyvät käyttökelpoisina vaadittuun tarkoitukseen. Lisäksi on säädetty, että rakenteet on suunniteltava kestäämään mahdolliset onnettomuuskuormat, kuten esimerkiksi räjähdys ja törmäykset siten, että vaurioita ei synny suhteettoman paljon alkuperäiseen syyhyn nähden. Standardissa ei käsitellä esimerkiksi maanjäristysten tai sota- ja terroristitoiminnan aiheuttamia vaurioita. Ohjeistus ei myöskään koske mahdollisia rakennusaikaisia onnettomuus tilanteita vaan ne on tarvittaessa huomioitava erikseen.

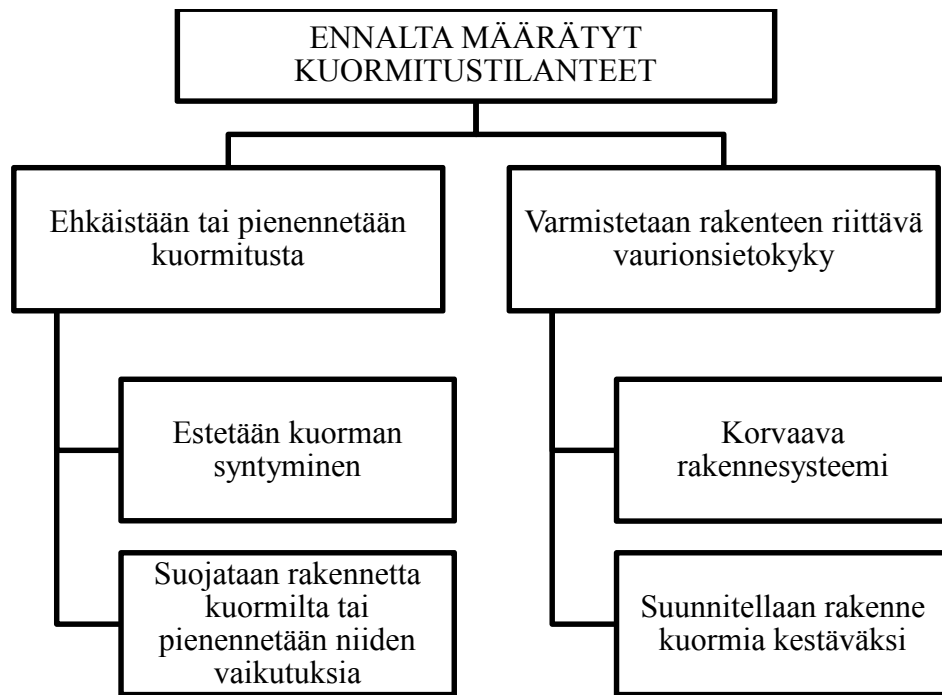
Tarkemmin onnettomuus tilannemitoitus on ohjeistettu standardissa SFS-EN 1991-1-7. Kyseisessä standardissa edellytetään, että rakenteiden ja liitosten on kestävä myös poikkeukselliset kuormitus- ja onnettomuus tilanteet, kun rakenteiden sortumisesta seuraa ihmishenkien vaarantuminen tai taloudelliset, yhteiskunnalliset tai ympäristöön kohdistuvat seuraamukset eivät ole merkityksellisiä. Rakenteen on myös kestävä niin pitkään, että ihmiset ehtivät poistua tai heidät ehditään pelastamaan rakennuksesta ja sen välittömästä läheisyydestä. Pitempiaikaista kestävyyttä vaaditaan silloin, kun rakennuksessa käsitellään vaarallisia aineita, turvataan oleellisen tärkeitä palveluita tai jos rakennusta käytetään kansallisen turvallisuuden ylläpitämiseen. Onnettomuus kuormien aiheuttama paikallinen vaurio voidaan hyväksyä, jos se ei vaaranna koko rakennuksen stabiiliutta. Tällöin paikallisen vaurion laajuutta on rajoitettava siten, että siitä ei synny jatkuvaa sortumaa (ks. kappale 2.2).

Kuviossa 1 on esitetty ennalta määrättyjen onnettomuusmitoitustilanteiden käsittelyn toimintaperiaatteet. Käytettävät toimintaperiaatteet sovitaan hankekohtaisesti kohteen tilaajan ja asianomaisen viranomaisen kanssa. Määriteltävissä olevien onnettomuus kuormien nimelliset arvot on esitetty standardissa. Kun mahdollinen onnettomuus kuorma pystytään määrittelemään (esimerkiksi räjähdys tai törmäys), on käytettävä yhtä tai useampaa seuraavista toimintaperiaatteista:

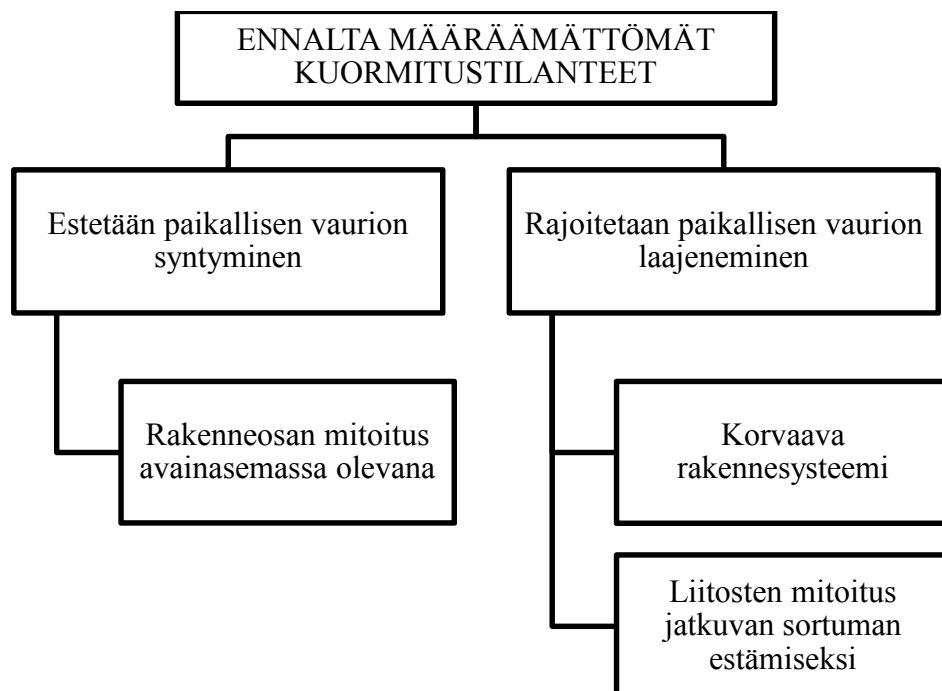
- a) Estetään onnettomuuskuorman syntyminen tai pienennetään sen vaikutusta rakenteeseen.
 - Onnettomuuskuorman syntymiseen ja suuruuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi suojakaiteilla, paineenpurkausluukuilla tai sijoittamalla rakennus riittävälle etäisyydelle liikennöidystä alueesta.
- b) Varmistetaan, että rakenteella on riittävä vaurionsietokyky. Tässä toimintaperiaatteessa on käytettävä yhtä tai useampaa seuraavista menettelytavoista:
 - Suunnitellaan korvaava rakennesysteemi onnettomuustilanteiden varalle (ks. kappale 2.3), eli suunnitellaan rakenteet siten, että kuormat siirtyvät onnettomuustilanteen jälkeen vaihtoehtoisia reittejä.
 - Suunnitellaan rakenteen stabiiliuteen vaikuttavat rakenneosat siten, että ne kestävät onnettomuuskuorman.

Kuviossa 2 on esitetty ennalta määräämättömien onnettomuusmitoitustilanteiden käsittelyn toimintaperiaatteet. Määrittelemättömästä syystä aiheutuvat onnettomuuskuormat sisältävät suuren määrän mahdollisia tapauksia, joten niiden käsittelyssä toimintaperiaatteet perustuvat paikallisen vaurion estämiseen tai sen laajuuden rajoittamiseen. Näissä tapauksissa voidaan käyttää seuraavia menettelytapoja:

- a) Estetään paikallisen vaurion syntyminen.
 - Suunnitellaan rakenteen stabiiliuteen vaikuttavat rakenneosat avainasemassa olevina siten, että ne kestävät onnettomuuskuorman A_d (ks. kappale 4.5).
- b) Rajoitetaan paikallisen vaurion laajeneminen.
 - Suunnitellaan korvaava rakennesysteemi onnettomuustilanteiden varalle (ks. kappale 2.3), eli suunnitellaan rakenteet siten, että kuormat siirtyvät onnettomuustilanteen jälkeen vaihtoehtoisia reittejä.
 - Mitoitetaan rakenteen liitokset kappaleen 4 mukaisesti siten, että paikallisen vaurion seurauksena ei tapahdu jatkuvaa sortumaa (ks. kappale 2.2). Kun liitokset mitoitetaan esitetyille voimille, erillistä tarkastelua vaihtoehtoisesta rakennesysteemistä ei tarvitse tehdä.



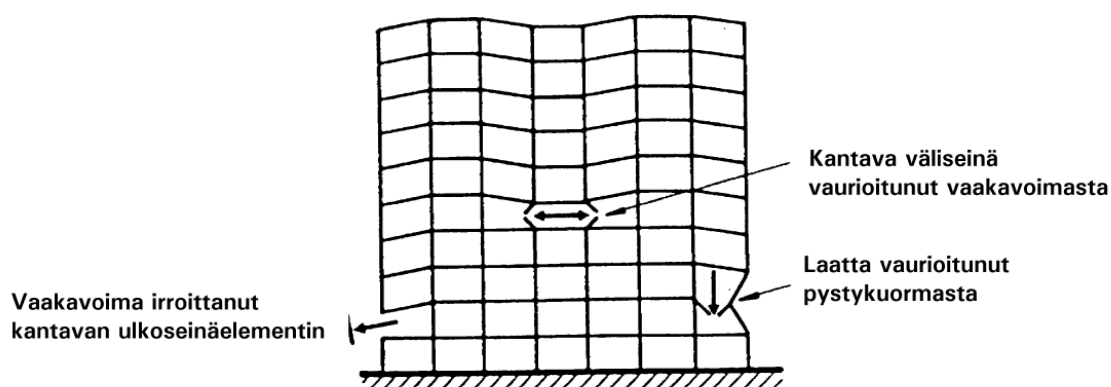
Kuvio 1. Ennalta määrättyjen onnettomuusmitoitustilanteiden käsittelyn toimintaperiaatteet



Kuvio 2. Ennalta määräämättömien onnettomuusmitoitustilanteiden käsittelyn toimintaperiaatteet

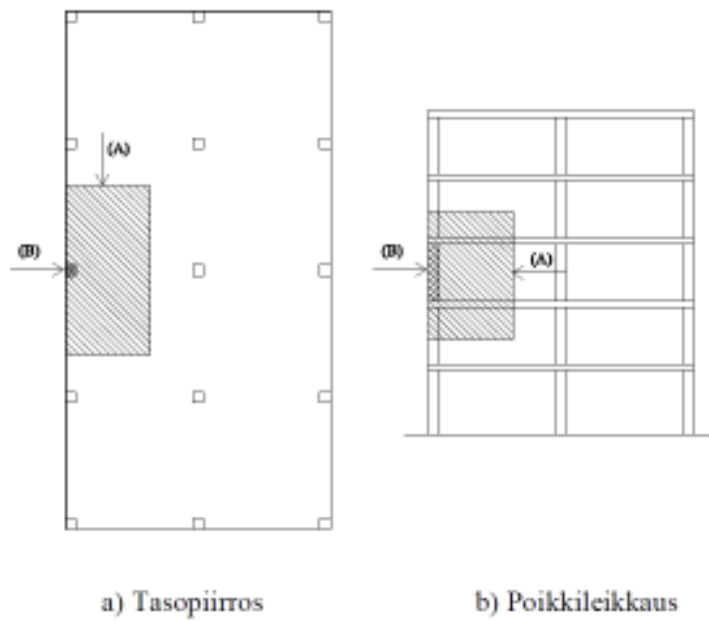
2.2 Paikallinen vaurio ja jatkuva sortuma

Paikallisella vauriolla tarkoitetaan onnettomuuskuorman aiheuttamaa vauriota yksittäiseen rakenneosaan, jolloin rakenneosa menettää kantavuutensa. Paikallinen vaurio voi olla esimerkiksi vaakavoiman irrottanut kantava ulkoseinäelementti, vaakavoimasta vaurioitunut väliseinä tai pystykuormasta vaurioitunut laatta, kuten kuvassa 1 on esitetty.



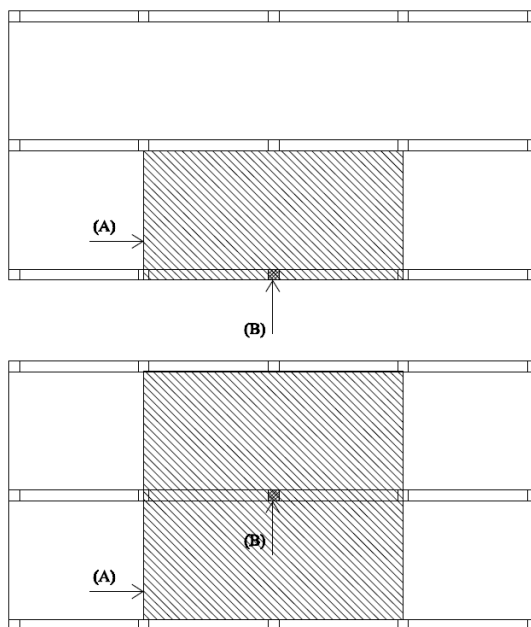
KUVA 1. Onnettomuuskuormien aiheuttamia vaurioita (Normikortti 23)

Eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 kansallisessa liitteessä määritellään rajat paikallisen vaurion laajuudelle erikseen monikerroksisissa ja hallimaisissa rakenteissa. Monikerroksisissa rakennuksissa paikallinen vaurio saa kattaa yhdessä kerroksessa enintään 15 % lattiapinta-alasta, mutta kuitenkin enintään 100 m²/krs ja korkeintaan kahdessa päällekkäisessä kerroksessa. Kuvassa 2 on havainnollistettu paikallisen vaurion sallittua laajuutta monikerroksisessa rakennuksessa. Hallimaisessa rakennuksessa ulkoseinälinjalla olevan vaurion laajuus saa olla korkeintaan pääkannattajien väli kerrottuna pääkannattajien pituudella. Muualla kuin ulkoseinälinjalla sallitaan vauriolle kaksinkertainen laajuus. Molemmissa tapauksissa vaurio saa tapahtua vain yhdessä kerroksessa. Kuvassa 3 on esitetty havainnekuva paikallisen vaurion sallitusta laajuudesta hallimaisessa rakennuksessa.



- (A) Paikallinen vaurio
 (B) Poistettavaksi ajateltu pilari

KUVA 2. Paikallisen vaurion sallittu laajuus monikerroksisessa rakennuksessa (Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1-7)



- (A) Paikallinen vaurio
 (B) Poistettavaksi ajateltu pilari

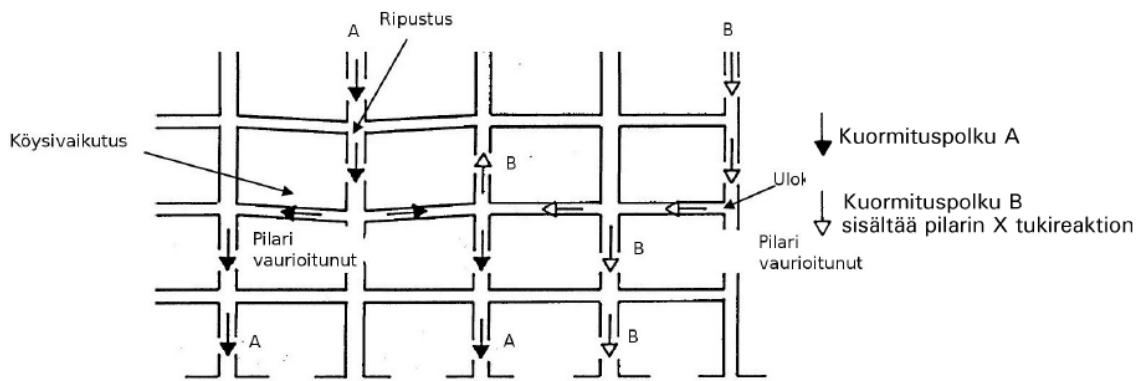
KUVA 3. Paikallisen vaurion sallittu laajuus hallimaisessa rakennuksessa (Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1-7)

Pekka Häyrisen mukaan paikallisen vaurion laskennassa huomioitava pinta-ala voidaan rajata liikuntasamaan. Jos esimerkiksi päärakennuksen vieressä oleva autokatos on oma rakennekokonaisuutensa ja on erotettu päärakennuksesta vähintään liikuntasaumalla, sitä voidaan käsitellä erillisenä rakennuksena paikallisen vaurion laajuutta tarkasteltaessa. Jos taas autokatoksen rakenteet tukeutuvat päärakennuksen rakenteisiin, käsitellään päärakennus ja autokatos yhtenä rakennekokonaisuutena.

Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan paikallisesta vauriosta seuraavaa ketjureaktiomaista sortumaa, jossa merkittävä osa rakennuksesta sortuu ja josta seuraa merkittävä henkilövahinkojen riski. Jatkuva sortuma voi johtua esimerkiksi kantavan rakenteen paikallisesta vauriosta, jolloin kyseisen rakenteen yläpuoliset rakenteet sortuvat ketjuna. Jatkuva sortuma voi saada alkunsa myös jonkin rakenneosan putoamisesta paikallisen vaurion seurauksena. Putoamisesta aiheuttaa voimakkaan iskun alapuolisiin rakenteisiin, jolloin ne sortuvat, ellei tilannetta ole ennakoitu. Paikallisen vaurion eteneminen jatkuvaksi sortumaksi voidaan estää suunnittelemalla rakenne siten, että vaurioituneen rakenneosan kannattelemat kuormat siirtyvät vaihtoehtoisia reittejä pitkin vaurioitumattomille rakenneosille (ks. kappale 2.3) tai mitoittamalla liitokset Ympäristöministeriön ohjeen ”Rakennusten suunnittelu määrittelemättömästä syystä aiheutuvan paikallisen vaurion seuraamusten varalta” mukaisesti. Liitosten mitoittamista Ympäristöministeriön ohjeen mukaan käsitellään kappaleessa 4.

2.3 Korvaava rakennesysteemi

Joissakin tapauksissa paikallisen vaurion eteneminen jatkuvaksi sortumaksi voidaan estää korvaavalla rakennesysteemillä. Korvaava rakennesysteemi on suunniteltava siten, että koko rakennuksen vakavuus ei ole vaarassa, vaikka missä tahansa rakennusosassa tapahtuisi paikallinen vaurio. Korvaavassa rakennesysteemissä voi olla osana myös sellaisia rakenneosia, jotka eivät normaalitilanteissa toimi kantavina rakenteina. Kyseiset rakenneosat on silloin mitoitettava onnettomuustilanteen kuormituksille. Korvaavassa rakennesysteemissä rakenteelle voidaan sallia suuriakin muodonmuutoksia ja tällöin rakenteet toimivatkin yleensä normaalitilanteesta poiketen vetoa kestävinä köysi- tai kalvorakenteina. Rakenteisiin ja niiden välisiin liitoksiin saa syntyä myös plastisia niveliä. Olen- naista on, että jatkuva sortuma saadaan estettyä. Kuvassa 4 on havainnollistettu korvaavaa rakennesysteemiä.



Kuva 4. Korvaava rakennesysteemi

2.4 Kuormitusyhdistelmä, kertoimet ja osavarmuusluvut

Onnettomuusrajatilan kuormitusyhdistelmän ei katsota vaikuttavan samanaikaisesti normaalin murto- tai käyttörajatilan kuormitusyhdistelmien kanssa. Myöskään ennalta määriteltävissä olevaa ja määrittelemättömästä syystä aiheutuvaa kuormitustapausta ei tarvitse huomioida samanaikaisesti. Kuitenkin vaikka rakenne olisi mitoitettava jollekin ennalta määriteltävissä olevalle onnettomuuskuormalle, myös ennalta määrittelemättömästä onnettomuudesta johtuva tilanne on huomioitava. Onnettomuusmitoitustilanteen kuormitusyhdistelmä voidaan tehdä onnettomuustilanteen aikaiseen tai sen jälkeiseen tilanteeseen. Onnettomuustilanteen aikaisessa kuormitusyhdistelmässä on huomioitava onnettomuuskuorma. Muut muuttuvat kuormat kerrotaan yhdistelykertoimella, jotka on esitetty standardin SFS-EN 1990 mukaisesti taulukossa 1. Onnettomuusrajatila-mitoituksessa luonnonkuormille käytetään yhdistelykerrointa ψ_1 ja muille muuttuville kuormille yhdistelykerrointa ψ_2 . Pysyvien ja muuttuvien kuormien osavarmuusluvut γ_g ja γ_q ovat 1,0. Kuormitusyhdistelmän yleinen muoto on:

$$E_d = G_k + A_d + (\psi_{1,1} \text{ tai } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \Sigma(\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \quad (1)$$

jossa:

G_k	pysyvän kuorman ominaisarvo,
A_d	onnettomuuskuorman mitoitusarvo,
$Q_{k,i}$	muuttuvan kuorman ominaisarvo,
ψ_i	yhdistelykerroin (ks. taulukko 2).

Taulukko 1. Muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet (SFS-EN 1990)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat (ajoneuvon paino ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat (ajoneuvon paino ≤ 160 kN)	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma	0,7	0,5	0,2
Tuulikuorma	0,6	0,2	0

Materiaalien lujuuksien mitoitusarvot lasketaan kaavalla:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_{acc}} \quad (2)$$

jossa:

f_k materiaalin ominaislujuus,
 γ_d materiaalin osavarmuusluku onnettomuusrajatilassa.

Betonin osavarmuusluku $\gamma_{c,acc}$ on 1,2 ja raudoituksen osavarmuusluku $\gamma_{s,acc}$ on 1,0.

3 ENNALTA MÄÄRÄTYT ONNETTOMUUSKUORMITUSTILANTEET

3.1 Törmäykset

Rakennuksia suunniteltaessa ajoneuvon törmäyksestä aiheutuvat kuormat tulee huomioida

- pysäköintitaloissa
- rakennuksissa, joissa ajoneuvot tai haarukkatrukit kulkevat
- rakennuksissa, jotka sijaitsevat joko tie- tai rautatieliikenteen välittömässä läheisyydessä.

Alueilla, joihin ajoneuvojen pääsy on estetty sijaitsevia rakenteita ei tarvitse mitoittaa kestämiään törmäyskuormia. Myöskään seuraamusluokkaan CC1 (ks. taulukko 2) kuuluvia rakennuksia suunniteltaessa törmäyskuormia ei tarvitse huomioida.

Taulukko 2. Seuraamusluokkien määrittely (SFS-EN 1990)

Seuraamus-luokka	Kuvaus	Esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetyksen tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetyksen tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetyksen tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

Törmäyksestä voidaan käyttää termiä ”kova törmäys” tai ”pehmeä törmäys”. Kovassa törmäyksessä rakenteen oletetaan olevan jäykkä ja liikkumaton ja törmäävän kappaleen deformatiivun lineaarisesti törmäysvaiheen aikana. Kovassa törmäyksessä energia absorboituu pääasiassa törmäävään kappaleeseen. Tämä oletus johtaa yleensä varmalla puolella oleviin tuloksiin. Törmäyskuormat voidaan määrittää dynaamisen analyysin perusteella tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää taulukossa 3 esitettyjä arvoja. Kun rakenne on

suunniteltu pehmeän törmäyksen periaatteella, törmäysenergian absorboi törmäävän kohteen sijaan törmäyksen kohteena oleva rakenne. Rakenteella on tällöin oltava riittävä kimmoelastinen muodonmuutoskyky.

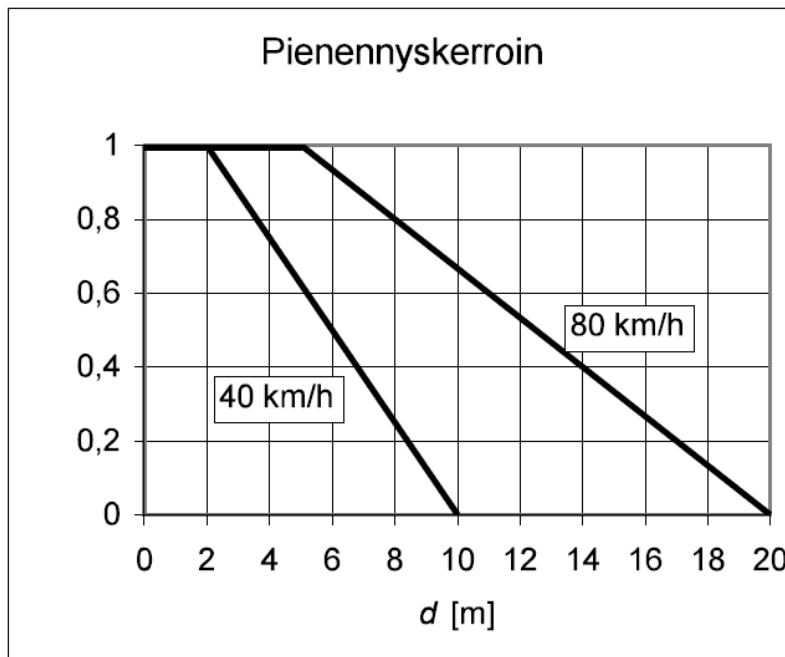
3.1.1 Törmäys rakennuksen tukirakenteisiin

Taulukossa 3 on esitetty ohjeelliset mitoituskuormat, jotka aiheutuvat ajoneuvon törmäyksestä ajoväylän yläpuolella tai vieressä olevia rakenteita tukeviin rakenneosiin. Jos rakenne sijaitsee piha-alueella yli 2 m etäisyydellä ajoneuvoliikenteelle tarkoitetun alueen reunasta, sitä ei tarvitse mitoittaa ajoneuvon törmäyskuormalle. Kuormien F_{dx} ja F_{dy} ei oleteta vaikuttavan samanaikaisesti.

Taulukko 3. Ohjeelliset mitoitusarvot rakennusta tukeviin pilareihin tai seiniin kohdistuvalle törmäykselle

Liikenteen luokka	Kuorma $F_{dx}^a)$ [kN]	Kuorma $F_{dy}^a)$ [kN]
Moottoritiet sekä valta- ja kantatiet	1000	500
Maantiet	750	375
Taajamien tiet ja kadut	500	250
Pihat ja autotallit, joihin: - henkilö- ja pakettiautot pääsevät kulkemaan - kuorma-autot pääsevät kulkemaan ^{b)}	50 150	25 75
^{a)} x = normaali liikenteen suunta, y = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan. ^{b)} Termi ”kuorma-auto” tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.		

Taajamien tiet ja kadut -luokan mitoituskuormat voidaan kertoa kuvion 3 mukaisella pienennyskerroimella. Kuviossa d tarkoittaa rakenneosan etäisyyttä liikennöitävän kaistan keskilinjasta. Pienennyskerroin valitaan alueella suurimman sallitun ajonopeuden mukaisesti. 40 km/h ja 80 km/h välillä olevat nopeudet voidaan interpoloida lineaarisesti. Mitoituskuormien on oltava kuitenkin vähintään luokan pihat ja autotallit kuorma-autoja koskevien vaatimusten mukaiset. Pienennyskerrointa voidaan käyttää kohteissa, joissa ajokaistan keskilinjan ja törmäyskohdan välinen ajokaistaa vastaan kohtisuoraan mitattu kaltevuus on enintään 1:5 alaspäin. Jos kaltevuus on suurempi, törmäyskuormaa tarkastellaan tapauskohtaisesti. Tapauskohtaisesti voidaan tarkastella myös kohteet, joissa on nouseva luiska, kaiteita tai muita törmäysesteitä.



Kuvio 3. Pienennyskerroin talorakenteiden mitoituskuormalle luokassa taajamien tiet ja kadut (Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1-7)

Henkilöauton törmäyskuorman resultantin oletetaan vaikuttavan 0,5 m korkeudella tien pinnasta. Kuorman vaikutusalueen suositeltava korkeus on 0,25 m ja leveys 1,5 m, mutta korkeintaan rakenneosan leveys. Kuorma-auton törmäyskuorman resultantin oletetaan vaikuttavan 0,5...1,5 m korkeudella tien pinnasta. Vaikutusalueen suositeltava korkeus on 0,5 m ja leveys 1,5 m, mutta korkeintaan rakenneosan leveys.

3.1.2 Haarukkatrukkien aiheuttamat onnettomuuskuormat

Haarukkatrukkien törmäyskuormat on suositeltavaa käsitellä pehmeänä törmäyksenä. Vaihtoehtoisesti mitoituskuorman F suuruutena voidaan käyttää kuormitetun trukin nettopainon ja taakan painon summaa W . Kuorma F vaikuttaa 0,75 m korkeudella lattian pinnasta.

3.2 Rakennuskohteen sisäpuoliset räjähdykset

Räjähdykset on otettava huomioon rakennuskohteita, joissa käsitellään, säilytetään tai kuljetetaan kaasua, räjähtäviä materiaaleja tai räjähtäviä kaasuja muodostavia materiaaleja. Tässä kappaleessa ei käsitellä räjähdysaineiksi luokiteltujen materiaalien vaikutuksia, koska ne eivät ole yllättäviä onnettomuuskuormia.

Toimintaperiaate sisäpuolisten räjähdysten varalle on jatkuvan sortuman estäminen. Räjähdyskuorma käsitellään räjähdysten aiheuttamana paineena ja sen oletetaan vaikuttavan täydellä teholla kaikkiin räjähdystä rajoittaviin pintoihin. Näin laskenta on varmalla puolella. Räjähdysten voimakkuuteen vaikuttavat räjähtävä materiaali ja tilan tilavuus. Räjähdyskuorman ominaisarvoa laskettaessa huomioidaan räjähdystyyppi, räjähdysalueen pinta-ala ja räjähdysalueella olevien aukkojen, kuten esimerkiksi ikkunoiden pinta-ala. Räjähdyskuorman ollessa liian suuri sitä voidaan pienentää paineenpurkausluukuilla.

4 LIITOSTEN MITOITUS JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMISEKSI

4.1 Mitoitusperiaatteet

Kun liitoksia mitoitetaan ennalta määräämättömän onnettomuuskuorman varalle jatkuvan sortuman estämiseksi, huomioidaan liitosten kapasiteettiin ainoastaan raudoitteet. Esimerkiksi neopreenilaakereita ei huomioida. Raudoitteista voidaan kuitenkin huomioida kaikki rakenteen teräkset, eli myös murto- ja käyttörajautilamitoituksen vaatimat raudoitusosat. Onnettomuusrajautilan mukaiset raudoitteet on tarkoitettu vähimmäisraudoituksiksi, mutta joissakin tapauksissa murto- tai käyttörajautila muodostuu määrääväksi ja edellyttää suurempaa teräsmäärää. Teräslaadun on oltava riittävän sitkeää, joten hyväksyttävät laadut ovat A500HW, B500B ja B500C1. Ruostumatonta terästä ei voida onnettomuusrajautilamitoituksessa käyttää. Mitoitettaessa teräsbetonista rakenneosaa tietylle kuormalle voidaan betonille sallia vetorasitus, joka on kuitenkin maksimissaan sen vetolujuuden suuruinen.

4.2 Seuraamusluokkien mukaiset toimintaperiaatteet

Taulukossa 4 on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen mukainen rakennusten jaottelu seuraamusluokkiin onnettomuustilannemitoituksessa. Kaikissa seuraamusluokissa rakenteet on suunniteltava standardien SFS-EN 1990...1999 mukaisesti siten, että ne kestävät tavanomaissa tilanteessa vaikuttavat kuormitukset. Luokituksesta riippuen mitoituksessa noudatetaan lisäksi toimintaperiaatteita, jotka on esitetty tässä kappaleessa standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisessa liitteessä olevan Ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti. Suositeltavia toimintaperiaatteita noudattamalla rakennus sietää paikallisen vaurion siten, että siitä seuraava sortuma pysyy hyväksyttävissä rajoissa. Nämä toimintaperiaatteet johtavat joissakin tilanteissa epätaloudellisiin ratkaisuihin. Tällöin on suositeltavaa käyttää vaihtoehtoisia toimintatapoja.

TAULUKKO 4. Onnettomuusmitoituksen seuraamusluokat standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen mukaan

Seuraamus- luokka	Rakennuksen tyypin ja käyttötarkoituksen mukainen luokitus
1	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esimerkiksi varastot
2a Melko pienen riskin ryhmä	Rakennukset, joissa on korkeintaan neljä maanpäällistä kerrosta ¹⁾ tai joiden korkeus maanpinnasta on enintään 16 m
2b Melko suuren riskin ryhmä	Kaikki muut rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu seuraamusluokkiin 1, 2a tai 3
3a	9-15 -kerroksiset ²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset ja muut 9-15 -kerroksiset käyttötarkoitukseltaan ja rungoltaan samantyyppiset rakennukset
3b	Muut yli 8-kerroksiset rakennukset Konserttitalit, teatterit urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot (yli 1000 henkeä) Raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset Erikoisrakenteet tapauskohtaisen harkinnan mukaan

¹⁾ Asuinrakennukset, joissa on korkeintaan kaksi maanpäällistä kerrosta, voidaan suunnitella kuitenkin onnettomuusrajatilassa seuraamusluokan 1 mukaisesti.

²⁾ Kellarikerrokset mukaan luettuina.

Suosittelavat toimintaperiaatteet:

- a) Seuraamusluokkaan 1 kuuluvien rakennusten suunnittelussa ei tarvitse ottaa huomioon mahdollisia määrittelemättömistä syistä aiheutuvia onnettomuuskuormia.
- b) Seuraamusluokkaan 2a (melko pienen riskin ryhmä) kuuluvissa rakennuksissa on käytettävä vaakasiteitä (ks. kappale 4.3) tai vaakarakenteet on ankkuroitava seinisiin.
- c) Seuraamusluokan 2b (melko suuren riskin ryhmä) rakennuksissa käytetään jompaakumpaa seuraavista menettelytavoista:
 - Vaakarakenteet sidotaan kohdan 4.3 mukaisesti ja kaikissa kantavissa pilareissa sekä seinissä käytetään kohdan 4.4 mukaisia pystysiteitä.
 - Tarkistetaan, että rakennus ei menetä stabiilitettiaan eikä paikallisesta vauriosta seuraa hyväksyttävän rajan ylittävää sortumaa vaikka rakennuk-

sesta poistettaisiin mikä tahansa tukipilari, pilaria tukeva palkki tai kantavan seinän lohko. Jos sortuma ylittää hyväksyttävän rajan, rakenneosaa on mitoitettava avainasemassa olevana kohdan 4.5 mukaisesti.

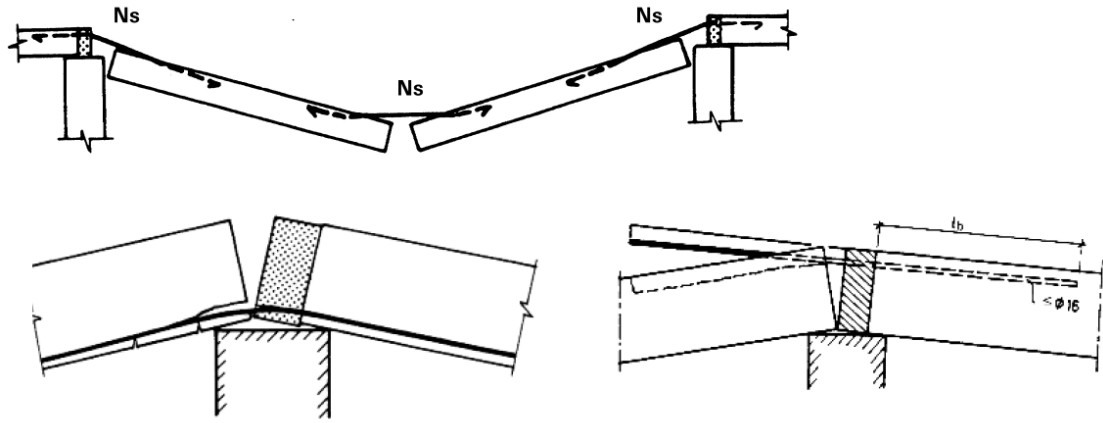
- d) Seuraamusluokan 3a rakennusten suunnittelussa menetellään samoin kuin seuraamusluokassa 2b (melko suuren riskin ryhmä).
- e) Seuraamusluokan 3b rakennuksia suunniteltaessa on tehtävä järjestelmällinen arviointi mahdollisista riskeistä, missä huomioidaan sekä ennakoitavissa olevat että ennakoimattomat vaaratilanteet. Riskiarviosta riippumatta on noudatettava vähintään seuraavaa menettelytapaa:
 - Tarkistetaan, että rakennus ei menetä stabiilitettiaan eikä paikallisesta vauriosta seuraa hyväksyttävän rajan ylittävää sortumaa vaikka rakennuksesta poistettaisiin mikä tahansa tukipilari, pilaria tukeva palkki tai kantavan seinän lohko. Jos sortuma ylittää hyväksyttävän rajan, rakenneosaa on mitoitettava avainasemassa olevana kohdan 4.5 mukaisesti.

4.3 Vaakasiteet

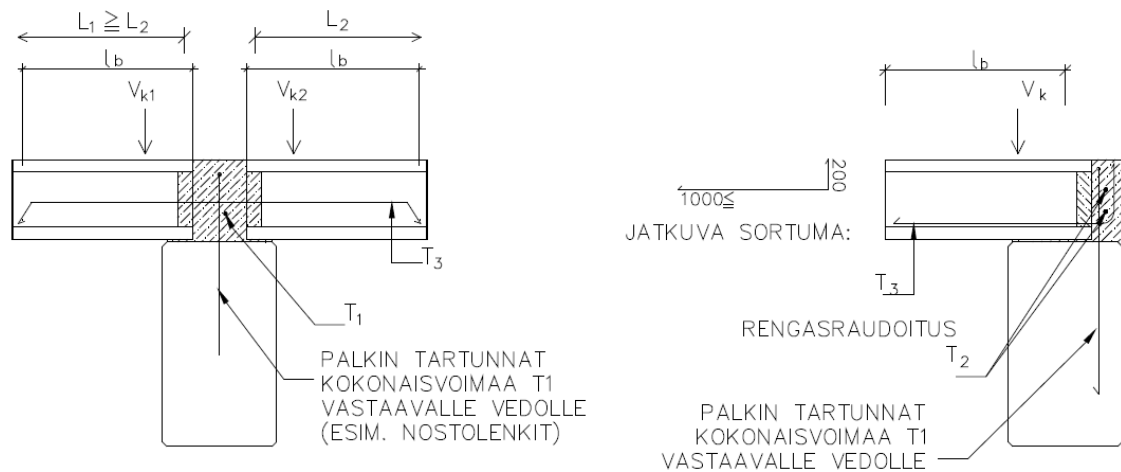
4.3.1 Rengas- ja sisäpuoliset siteet

Jokaiseen välipohjaan on sijoitettava ympäri kiertävät rengassiteet ja toisiaan vastaan kohtisuorat sisäpuoliset siteet. Siteet tehdään jatkuviksi mahdollisimman lähelle välipohjien reunoja ja vähintään 30 % siteistä sijoitetaan pilarien ja seinien ruudukkolinjojen välittömään läheisyyteen. Rengasraudoitus on sijoitettava korkeintaan 1,2 m etäisyydelle tason reunasta. Tässä kappaleessa on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-7 mukaisesti voimat, jotka jatkuvien siteiden ja niiden pääteankkurointien on kestävä onnettomuusrajatilassa. Liitteessä 1 on esitetty periaatekuva ontelolaataston rengas- ja saumaraudoituksesta.

Ontelolaataston keskituen saumaraudoitus on sijoitettava sauman keskikorkeudelle. Kuvassa 5 on esitetty virheellisen sijoituksen mahdollisia seuraamuksia onnettomuustilanteessa kun terästen oikeneminen aiheuttaa betonipeitteen rikkoontumisen. Jotta sisäpuoliset siteet saadaan jatkuviksi, on siteet taivutettava kuvan 6 mukaisesti, jotta voimat siirtyvät ontelolaattojen punoksille. Rakennuksen reunalla saumaraudoitus on ankkuroitava suorakulmakoukulla rengasraudoituksen ympäri, kuten kuvassa 6 on esitetty.



Kuva 5. Ontelolaataston saumateräksen virheellinen sijoitus (Betoninormikortti 23)



Kuva 6. Laattaelementin ja palkin liitos (Betoninormikortti 23)

Liian paksujen terästen käyttöä on pyrittävä välttämään. Suurin suositeltava halkaisija saumateräksille on 16 mm. Sopiva halkaisija on 12 mm. Saumaterästen ankkurointipituu-
det on syytä laskea huonojen tartuntaolosuhteiden mukaisesti, koska teräksen hyvä tar-
tunta kapeassa sekä hankalasti valettavassa ja tiivistettävässä saumassa on epävarmaa.
Jotta laataston pituussuuntaisten saumojen aukeaminen ja siitä aiheutuva terästen ankku-
roinnin pettäminen saadaan estettyä, laataston poikittaissuuntaiset saumat raudoitetaan ja
raudoitus mitoitetaan samalle voimalle kuin pituussuuntainen saumaraudoitus.

Seuraamusluokka 2

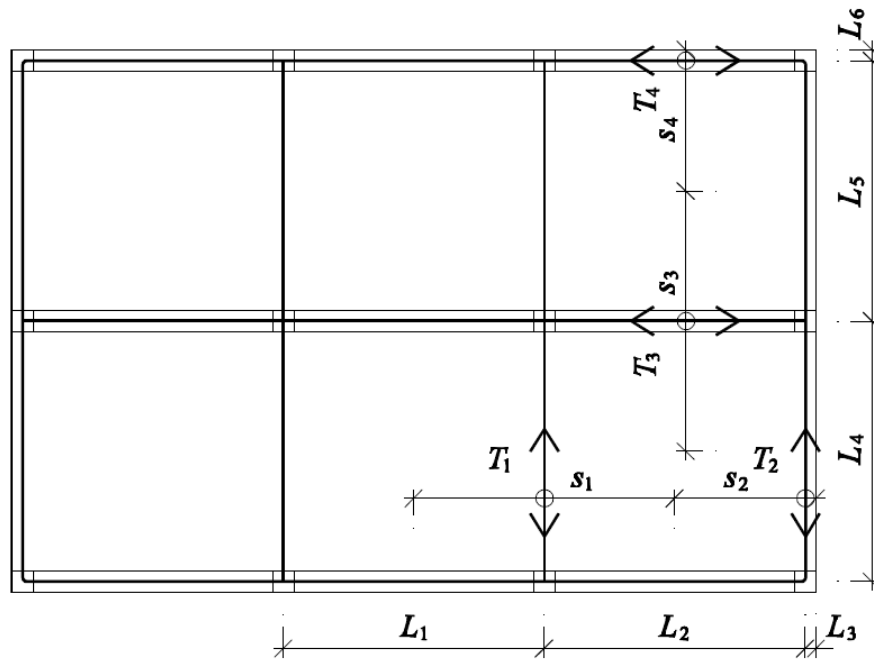
Sidevoimat määräytyvät vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvon g_k perusteella. Kun pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k = 1,0 \dots 2,0 \text{ kN/m}^2$, sidevoiman arvot interpoloidaan.

$$g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow T_i = \max(s \cdot 20 \text{ kN/m}; 70 \text{ kN}) \quad (3)$$

$$g_k \leq 1,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow T_i = \max(s \cdot 3 \text{ kN/m}; 10 \text{ kN}) \quad (4)$$

joissa:

g_k vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo,
 s sisäpuolisilla siteillä siteiden väli keskeltä keskelle ja rengassiteillä rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdella lisättynä etäisyydellä rakenteen reunaan (ks. kuva 7).



Sidevoimat:

$$T_1: s_1 = \frac{(L_1 + L_2)}{2}$$

$$T_2: s_2 = L_3 + \frac{L_2}{2}$$

$$T_3: s_3 = \frac{(L_4 + L_5)}{2}$$

$$T_4: s_4 = L_6 + \frac{L_5}{2}$$

Kuva 7. Sidevoiman kertymäleveyden s määrittys vaakasiteiden voimien laskennassa (SFS-EN 1991-1-7 kansallinen liite)

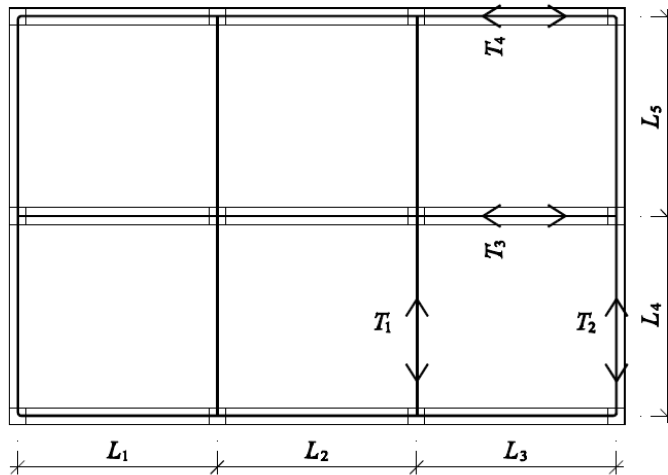
Seuraamusluokka 3

Sidevoimat määräytyvät vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvon g_k perusteella. Seuraamusluokassa 3a vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo on tyypillisesti suurempi kuin $2,0 \text{ kN/m}^2$. Arvon ollessa pienempi sidevoimat voidaan määrittää tapauskohtaisesti. Siteinä voidaan hyödyntää rakenneosia, joita käytetään muiden kuin onnettomuuskuormien kantamiseen.

$$g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow T_i = \max\left(\frac{F_t \cdot 0,8 \cdot (g_k + \sum \psi_i q_k)}{6 \text{ kN/m}^2} \cdot \frac{z}{5 \text{ m}} \cdot s ; F_t \cdot s\right) \quad (5)$$

jossa:

g_k	vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo,
F_t	$\min(48 \text{ kN/m} ; (16 + 2,1 \cdot n_s) \text{ kN/m})$,
ψ_i	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusrajatilassa,
s	sisäpuolisilla siteillä siteiden väli keskeltä keskelle ja rengassiteillä rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdelle lisättynä etäisyydellä rakenteen reunaan (ks. kuva 7),
n_s	kerrosten lukumäärä,
z	varmalle puolelle otaksuttu arvio korvaavan köysirakenteen jännevälin puolikkaasta (ks. kuvat 8 ja 9). Eli pilareiden tai seinien keskiviivojen välinen etäisyys siteen suunnassa tai kantavan seinän nimellispituus jaettuna kahdella siteen ollessa kantavan seinän suuntainen. (Kantavan seinän nimellispituus on betoniseinässä sivusuuntaisena tukena toimivien pystysuuntaisten rakenneosien välinen etäisyys, mutta kuitenkin enintään $2,25H$, jossa H on kerroskorkeus metreinä.)

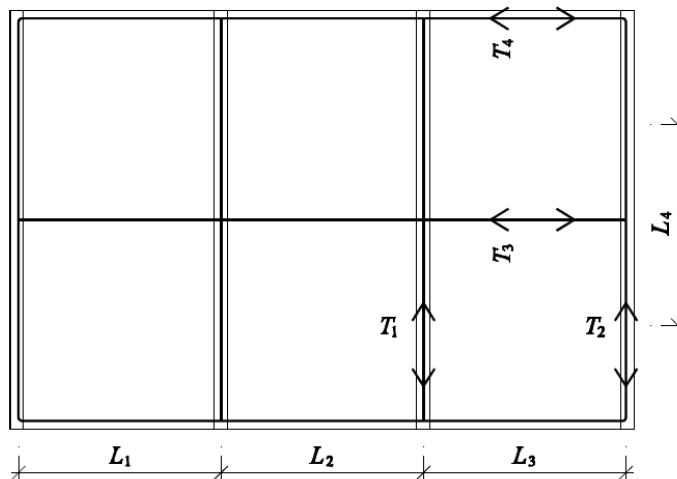


Sidevoimat:

$$T_1 \text{ ja } T_2: z = \max(L_4, L_5)$$

$$T_3 \text{ ja } T_4: z = \max(L_1, L_2, L_3)$$

Kuva 8. Mitan z määrittäminen vaakasiteiden voimien laskennassa pilari-palkki-rungossa (SFS-EN 1991-1-7 kansallinen liite)



Sidevoimat:

$$T_1 \text{ ja } T_2: z = \frac{L_4}{2}, \text{ jossa } L_4 \text{ kantavan seinälohkon nimellispituus}$$

$$T_3 \text{ ja } T_4: z = \max(L_1, L_2, L_3)$$

Kuva 9. Mitan z määrittäminen vaakasiteiden voimien laskennassa seinä-laatta-rungossa (SFS-EN 1991-1-7 kansallinen liite)

4.3.2 Seinien ja pilareiden sidonta välipohjaan

Reunapilarit ja -seinät sidotaan jokaiseen väli- ja yläpohjatasoon. Nurkkapilarit sidotaan molemmissa suunnissa. Rengassiteitä tai sisäpuolisia siteitä voidaan käyttää pilareiden sidontaan, jos raudoitus on ankkuroitu pilariin. Tässä kappaleessa on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-7 mukaisesti voimat, jotka reunapilarien ja -seinien siteiden on kestävä onnettomuusrajatilassa.

Seuraamusluokka 2

Sidevoimat määräytyvät vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvon g_k perusteella. Kun pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k = 1,0 \dots 2,0 \text{ kN/m}^2$, sidevoiman arvot interpoloidaan.

$$g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow F_{tie} = \min(s \cdot 20 \text{ kN/m}; 150 \text{ kN}) \quad (6)$$

$$g_k \leq 1,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow F_{tie} = \min(s \cdot 3 \text{ kN/m}; 150 \text{ kN}) \quad (7)$$

joissa:

g_k vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo,
 s sidevoiman kertymisleveys, joka lasketaan pystyrakenteiden välisten vapaiden etäisyyksien puolestavälistä puoleenväliin tai pystyrakenteen ollessa ulkonurkassa rakenteen ulkoreunaan saakka (ks. kuva 10).

Seuraamusluokka 3a

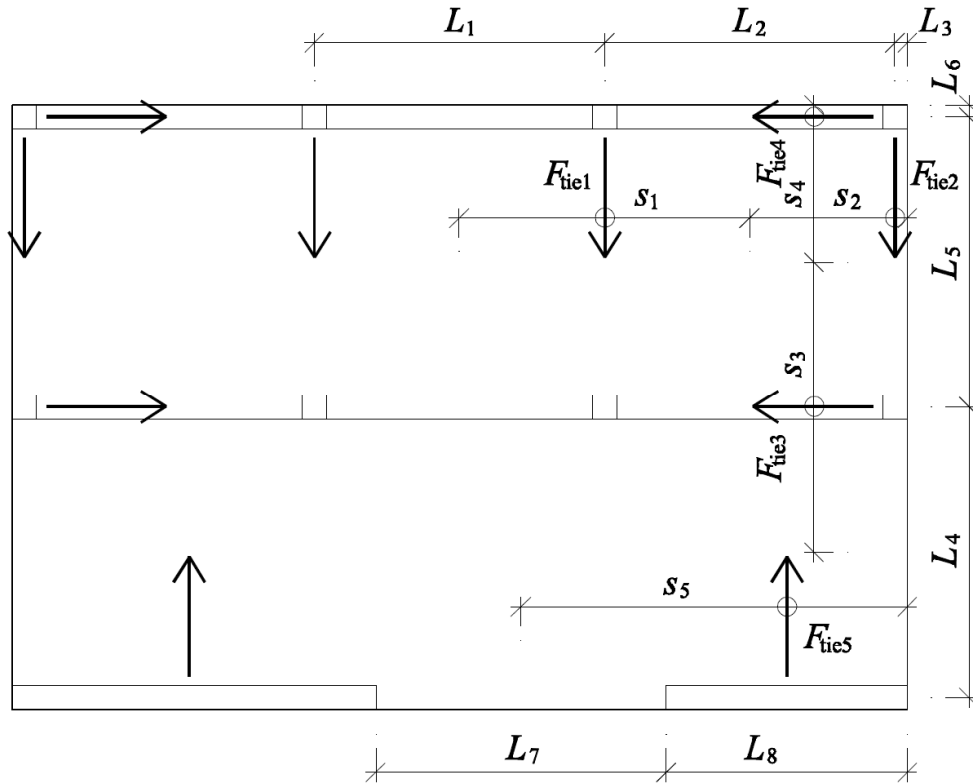
Sidevoimat määräytyvät vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvon g_k perusteella. Jos arvo on pienempi kuin $2,0 \text{ kN/m}^2$, voidaan sidevoimat määrittää tapauskohtaisesti.

$$g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow F_{tie} = \min\left(F_t \cdot \frac{h}{2,5 \text{ m}} \cdot s; 2 \cdot F_t \cdot s\right) \quad (8)$$

jossa:

g_k vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo,
 F_t $\min(48 \text{ kN/m}; (16 + 2,1 \cdot n_s) \text{ kN/m})$,
 n_s kerrosten lukumäärä,
 h kerroshöheus,

s sidevoiman kertymisleveys, joka lasketaan pystyrakenteiden välisen vapaiden etäisyyksien puolestavälistä puoleenväliin tai pystyrakenteen ollessa ulkonurkassa rakenteen ulkoreunaan saakka (ks. kuva 10).



$$F_{tie,1} \cdot s_1 = \frac{(L_1 + L_2)}{2}$$

$$F_{tie,2} \cdot s_2 = L_3 + \frac{L_2}{2}$$

$$F_{tie,3} \cdot s_3 = \frac{(L_4 + L_5)}{2}$$

$$F_{tie,4} \cdot s_4 = L_6 + \frac{L_5}{2}$$

$$F_{tie,5} \cdot s_5 = L_8 + \frac{L_7}{2}$$

Kuva 10. Sidevoiman kertymäleveyden s määrittäminen seinien ja pilareiden sidontavoimien laskennassa (SFS-EN 1991-1-7 kansallinen liite)

4.4 Pystysiteet

Pilarit ja seinät varustetaan jatkuvalla sidonnalla perustuksista yläpohjaan asti. Onnettomuusmitoitustilanteessa pilarien ja kantavien seinien on kestettävä vetovoima, joka on suuruudeltaan seinälle tuleva pystysuuntainen kuormitus (pysyvät ja muuttuvat kuormat) yhdeltä kerrokselta lisättynä seinän omapaino. Vetovoima ankkuroidaan yläpuoliseen kerrokseen. Kantavien seinien pystysiteet ryhmitetään enintään 6 m keskiövälein pitkin seinää ja ne ovat enintään 3 m etäisyydellä seinän vapaasta päästä.

Kuvassa 11 on esitetty kantavan seinäelementin kiinnitys yläpuoliseen elementtiin. Pystyside mitoitetaan voimalle, jonka suuruus on

$$F_v = G_s + G_k + Q_k \quad (9)$$

jossa:

G_s	seinäelementin omapaino,
G_k	seinäelementille yhdeltä kerrokselta tulevan pysyvän kuorman ominaisarvo,
Q_k	seinäelementille yhdeltä kerrokselta tulevien muuttuvien kuormien ominaisarvo.

Tämä toimintaperiaate voi johtaa epätaloudellisiin ratkaisuihin. Alla on esitetty esimerkkilaskelma väliseinän sidonnasta yläpuoliseen elementtiin. Väliseinän oletetaan olevan 6 m pitkä, 3 m korkea, 0,18 m paksu ja sen oletetaan kantavan molemmin puolin 7 m pitkiä 370 mm korkeita ontelolaattoja, joiden päällä on pintavalu.

$$G_s = 6 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 0,18 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 81 \text{ kN}$$

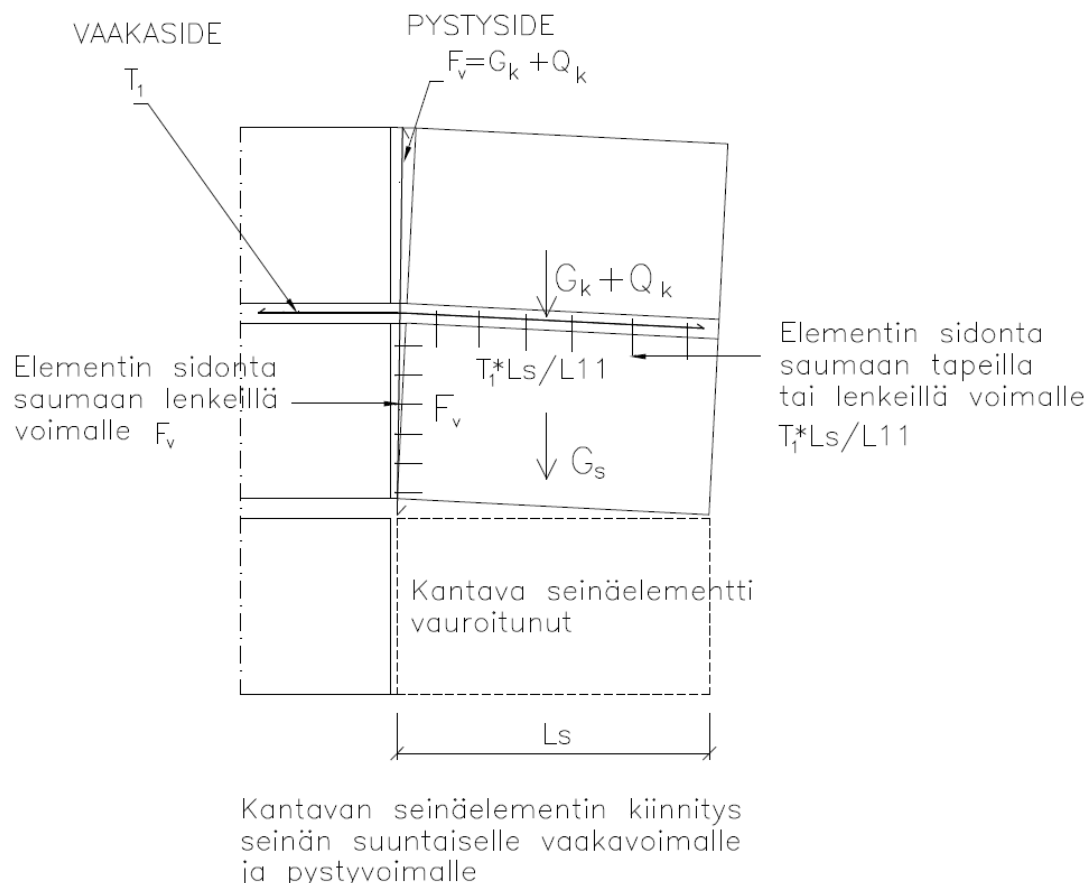
$$G_k = 7 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \cdot (5,1 \text{ kN/m}^2 + 0,5 \text{ kN/m}^2) = 235,2 \text{ kN}$$

$$Q_k = 0,3 \cdot 7 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 25,2 \text{ kN}$$

$$F_v = G_s + G_k + Q_k = 81 \text{ kN} + 235,2 \text{ kN} + 25,2 \text{ kN} = 341,4 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{F_v}{f_{yk}} = \frac{341,4 \text{ kN}}{500 \text{ N/mm}^2} = 682,8 \text{ mm}^2$$

Elementtisaumaan vaadittaisiin 2 kpl halkaisijaltaan 25 mm terästä, joten on kannattavampaa mitoittaa seinäelementti avainasemassa olevana.



Kuva 11. Kantavan seinäelementin kiinnitys yläpuoliseen elementtiin (Betoninormikortti 23)

4.5 Avainasemassa olevat rakenneosat

Standardin SFS-EN 1991-1-7 mukaan avainasemassa olevat rakenneosat tulee mitoittaa siten, että ne kestävät onnettomuuskuorman A_d . Standardin kansallisessa liitteessä on määritelty kuorman A_d mitoitusarvoksi 50 kN. Kuorma A_d vaikuttaa vapaan kerroskorkeuden puolivälissä vaakasuunnassa. Seinissä kuorma A_d jaetaan viivakuormaksi kolmen metrin leveydelle ja pilareissa A_d on pistekuorma. Seuraavassa esimerkkilaskussa tarkastellaan raudoittamattoman betoniseinän kestävyyttä avainasemassa olevana rakenneosana.

5 MITOITUSTAULUKOT RENGAS- JA SISÄPUOLISILLE SITEILLE

5.1 Yleistä

Tässä kappaleessa esitetään mitoitusaulukot vaakasiteiden mitoittamiseen jatkuvan sortuman estämiseksi. Taulukot on laadittu seuraamusluokille 2a, 2b ja 3a. Mitoitusaulukot on tarkoitettu seinä-laatta-runkoisille betonirakennuksille, joissa on ontelolaattaväli- ja -yläpohjat.

5.2 Mitoitusaulukot

Seuraamusluokka 2

Ontelolaatastojen pysyvän kuorman ominaisarvo on matalimmillakin laatoilla suurempi kuin $2,0 \text{ kN/m}^2$, joten seuraamusluokan 2 rengas- ja sisäpuolisten siteiden voimat lasketaan kaavalla 3. Sidevoima T_i vähimmäisarvo on 70 kN, jolloin vaaditaan 2 kpl halkaisijaltaan 10 mm harjaterästä.

Seuraavassa esimerkissä on laskettu rengasraudoitus etäisyyden s ollessa 4 m:

$$T_{s=4m} = \max(4 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}; 70 \text{ kN}) = \max(80 \text{ kN}; 70 \text{ kN}) = 80 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{T_{s=4m}}{f_{yk}} = \frac{80 \text{ kN}}{500 \text{ N/mm}^2} = 160 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,2T12} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2 = 226,2 \text{ mm}^2$$

Taulukko 5. Ontelolaataston rengasraudoitus seuraamusluokassa 2

s	Sidevoima	Vaadittava teräsmäärä	Raudoitus	Todellinen teräsmäärä
3,5 m	70 kN	140 mm ²	2 T10	157,1 mm ²
4 m	80 kN	160 mm ²	2 T12	226,2 mm ²
5 m	100 kN	200 mm ²	2 T12	226,2 mm ²
6 m	120 kN	240 mm ²	3 T12	339,3 mm ²
7 m	140 kN	280 mm ²	3 T12	339,3 mm ²
8 m	160 kN	320 mm ²	3 T12	339,3 mm ²
9 m	180 kN	360 mm ²	2 T16	402,1 mm ²
10 m	200 kN	400 mm ²	2 T16	402,1 mm ²

Sisäpuolisten siteiden etäisyyden ollessa pienempi kuin 3,5 m, vähimmäisarvo 70 kN voidaan jakaa metrikuormaksi 3,5 m matkalle. Tällöin vähimmäisarvoksi saadaan 20 kN/m ja näin ollen ontelolaataston sisäpuolisina siteinä riittää T10 k1200.

$$T_i = \frac{70 \text{ kN}}{3,5 \text{ m}} = 20 \text{ kN/m}$$

$$T_{k1200} = 20 \text{ kN/m} \cdot 1,2 \text{ m} = 24 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{T_{k1200}}{f_{yk}} = \frac{24 \text{ kN}}{500 \text{ N/mm}^2} = 48 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,T10} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (5 \text{ mm})^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

Seuraamusluokka 3

Seuraamusluokan 3 rakennusten rengas- ja sisäpuoliset siteet lasketaan kaavalla 5. Seuraavassa esimerkissä on laskettu sidevoiman arvo kantavan seinän suuntaisille siteille 9-kerroksisessa rakennuksessa, jossa välipohja muodostuu 370 mm korkeista ontelolaatoista ja 50 mm pintalaatasta. Muuttuja s on esimerkissä 4 m.

$$F_t = \min(48 \text{ kN/m}; (16 + 2,1 \cdot n_s) \text{ kN/m}) = \min(48 \text{ kN/m}; (16 + 2,1 \cdot 9) \text{ kN/m}) = \min(48 \text{ kN/m}; 34,9 \text{ kN/m}) = 34,9 \text{ kN/m}$$

$$g_k = g_{k,ol} + g_{k,pl} = 5,1 \text{ kN/m}^2 + 0,05 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 6,35 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$z = \frac{2,25 \cdot H}{2} = \frac{2,25 \cdot 3 \text{ m}}{2} = 3,38 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \max \left(\frac{F_t \cdot 0,8 \cdot (g_k + \sum \psi_i q_k)}{6 \text{ kN/m}^2} \cdot \frac{z}{5 \text{ m}} \cdot s ; F_t \cdot s \right) \\ &= \max \left(\frac{34,9 \text{ kN/m} \cdot 0,8 \cdot (6,35 \text{ kN/m}^2 + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2)}{6 \text{ kN/m}^2} \cdot \frac{3,38 \text{ m}}{5 \text{ m}} \right. \\ &\quad \left. \cdot 4 \text{ m} ; 34,9 \text{ kN/m} \cdot 4 \text{ m} \right) = \max(87,4 \text{ kN} ; 139,6 \text{ kN}) = 139,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$A_s = \frac{T_s}{f_{yk}} = \frac{139,6 \text{ kN}}{500 \text{ N/mm}^2} = 279,2 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,3T12} = 3 \cdot \pi \cdot r^2 = 3 \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2 = 339,3 \text{ mm}^2$$

Liian suuren muuttujien määrän välttämiseksi taulukossa 6 on muuttujan z arvona käytetty maksimiarvoa, eli kantavan seinän nimellispituuden puolikasta. Kerroskorkeudeksi taulukoissa oletetaan 3 m. Taulukot on tehty 9-10-kerroksisille rakennuksille.

Taulukko 6. Ontelolaataston rengasraudoitus seuraamusluokassa 3: Kantavan seinän suuntaiset siteet, ontelolaatta 370 / 400 mm + pintalaatta 50 mm.

kr	s	Sidevoima	Vaad. teräsmäärä	Raudoit.	Tod. teräsmäärä
9	4 m	139,6 kN	279,2 mm ²	3 T12	339,3 mm ²
9	5 m	174,5 kN	349,0 mm ²	2 T16	402,1 mm ²
9	6 m	209,4 kN	418,8 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
9	7 m	244,3 kN	488,6 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
9	8 m	279,2 kN	558,4 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
9	9 m	314,1 kN	628,2 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
9	10 m	349,0 kN	698,0 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
10	4 m	148,0 kN	296,0 mm ²	3 T12	339,3 mm ²
10	5 m	185,0 kN	370,0 mm ²	2 T16	402,1 mm ²
10	6 m	222,0 kN	444,0 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	7 m	259,0 kN	518,0 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	8 m	296,0 kN	592,0 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	9 m	333,0 kN	666,0 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
10	10 m	370,0 kN	740,0 mm ²	4 T16	804,2 mm ²

Taulukko 7. Ontelolaataston rengasraudoitus seuraamusluokassa 3: Ei kantavan seinän suuntaiset siteet, ontelolaatta 370 / 400 mm + pintalaatta 50 mm, $z = 6$ m.

krs	s	Sidevoima	Vaadittava teräsmäärä	Raudoitus	Todellinen teräsmäärä
9	4 m	155,2 kN	310,5 mm ²	3 T12	339,3 mm ²
9	5 m	194,0 kN	388,1 mm ²	2 T16	402,1 mm ²
9	6 m	232,9 kN	465,7 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
9	7 m	271,7 kN	543,3 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
9	8 m	310,5 kN	620,9 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
9	9 m	349,3 kN	698,6 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
9	10 m	388,1 kN	776,2 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
10	4 m	164,6 kN	329,2 mm ²	3 T12	339,3 mm ²
10	5 m	205,7 kN	411,4 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	6 m	246,9 kN	493,7 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	7 m	288,0 kN	576,0 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	8 m	329,2 kN	658,3 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
10	9 m	370,3 kN	740,6 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
10	10 m	411,1 kN	822,9 mm ²	3 T20	942,5 mm ²

Taulukko 8. Ontelolaataston rengasraudoitus seuraamusluokassa 3: Ei kantavan seinän suuntaiset siteet, ontelolaatta 370 / 400 mm + pintalaatta 50 mm, $z = 7$ m.

krs	s	Sidevoima	Vaadittava teräsmäärä	Raudoitus	Todellinen teräsmäärä
9	4 m	181,1 kN	362,2 mm ²	2 T16	402,1 mm ²
9	5 m	226,4 kN	452,8 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
9	6 m	271,7 kN	543,3 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
9	7 m	316,9 kN	633,9 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
9	8 m	362,2 kN	724,4 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
9	9 m	407,5 kN	815,0 mm ²	3 T20	942,5 mm ²
9	10 m	452,8 kN	905,5 mm ²	3 T20	942,5 mm ²
10	4 m	192,0 kN	384,0 mm ²	2 T16	402,1 mm ²
10	5 m	240,0 kN	480,0 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	6 m	288,0 kN	576,0 mm ²	3 T16	603,2 mm ²
10	7 m	336,0 kN	672,0 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
10	8 m	384,0 kN	768,0 mm ²	4 T16	804,2 mm ²
10	9 m	432,0 kN	864,0 mm ²	3 T20	942,5 mm ²
10	10 m	480,0 kN	960,0 mm ²	4 T20	1256,6 mm ²

6 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli luoda TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy:n henkilöstölle tiivis ja selkeä ohjeistus onnettomuustilanteiden huomioimisesta rakennesuunnittelussa. Tavoite saavutettiin ja tämän opinnäytetyön lukemalla suunnittelija saa käsityksen siitä, millaisissa tilanteissa tulee ottaa huomioon mahdolliset ennalta määriteltävissä olevat tai ennalta määräämättömät onnettomuuskuormat. Lisäksi tässä työssä esitellään toimintaperiaatteet näiden tilanteiden varalle ja tyypilliset tapaukset voidaan mitoittaa tällä ohjeistuksella.

Lisäksi opinnäytetyön yhteydessä oli tarkoitus laatia mitoitustaulukot ontelolaataston rengas- ja sisäpuolisten siteiden suunnitteluun kohteissa, joissa liitokset mitoitetaan jatkuvan sortuman estämiseksi. Seuraamusluokan 2 taulukot ovat selkeitä ja helppokäyttöisiä. Seuraamusluokan 3 sidevoiman laskentakaavassa on niin paljon muuttujia, että sen taulukoista oli haasteellista tehdä yhtä tiivistä esitystä, kuin seuraamusluokan 2 sidevoiman mitoitustaulukosta. Tämän työn pohjalta voi kuitenkin jatkossa tehdä lisää taulukoita tai mitoituksen ohjeistusta tarpeen mukaan. Mitoitustaulukot ovat kokonaisuudessaan käyttökelpoisia työkaluja betonielementtirakennusten rakenteita mitoitettaessa.

Valittu tutkimusmenetelmä osoittautui toimivaksi työn tulosten kannalta.

LÄHTEET

Betoninormikortti 23. Suomen Betoniyhdistys ry. 01.06.2012

Häyrinen P. rakennusinsinööri. 2015. Haastattelu 22.4.2015. Haastattelijat Ruokoranta E. ja Sormunen T. Helsinki.

RIL 201-2-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2011

SFS-EN 1990. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen Standardoimisliitto SFS. 2002

SFS-EN 1991-1-7. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat - Onnettomuuskuormat. Suomen Standardoimisliitto SFS. 2007

SFS-EN 1991-1-7. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat - Onnettomuuskuormat. Kansallinen liite. Suomen Standardoimisliitto. 2009

Rakennusten suunnittelu määrittelemättömästä syystä aiheutuvan paikallisen vaurion seuraamusten varalta. Ympäristöministeriö. 2009

LIITTEET

Liite 1. Ontelolaataston rengas- ja saumaraudoitus

